

マルチエージェントモデルを用いた 避難行動シミュレーションにおける二次元歩行モデルの構築

中央大学大学院 学生員 ○宇野 圭亮
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

近年、地震や高潮、津波、洪水などの巨大自然災害が頻発している。それらの自然災害がおよぼす人的被害を減少させるには、適切な避難経路を選定することが重要であり、避難シミュレーションによる評価・検討に関する研究が幅広く行われている¹⁾。そこで、筆者らはGISデータを用いた災害避難シミュレーションシステムを構築している²⁾。GISを使用することで入力データの作成手順を簡略化し、シミュレーションには、人間の避難行動の特性を考慮できる手法の一つであるマルチエージェントモデルを用いることで、様々なケースを想定できるシステムとしている。しかし、構築中の避難シミュレーションでは、避難者は道路中心線上を歩行するので、より現実に近い避難行動を再現するためには、道路の幅員を考慮した二次元での歩行モデルを検討する必要がある。

そこで本論文では、マルチエージェントモデルを用いた避難行動シミュレーションにおける二次元歩行モデルの構築を行う。歩行者は経過時間に応じて、他の歩行者を考慮した目的地までの最短経路を選択して歩行するものと仮定し、Dijkstra法³⁾を用いた最短経路選択モデルを用いる。なお、マルチエージェントシミュレータとしてNetLogo4.0.2⁴⁾を用いる。

2. 災害避難シミュレーションシステムの概要

本研究で構築している災害避難シミュレーションは、避難者が避難所に近づく、河川から離れる、標高の高い方へ逃げる、などの要因を判断しながら道路上を移動するものである。避難者が浸水部分に存在する場合、水深・流速によって、避難者の状態を変化させる。シミュレータ上で設定可能なパラメータは避難所認知率 $K[\%]$ 、避難者歩行速度 $V[m/s]$ および避難開始時間 $T[\min]$ である。実行画面を図-1に示す。

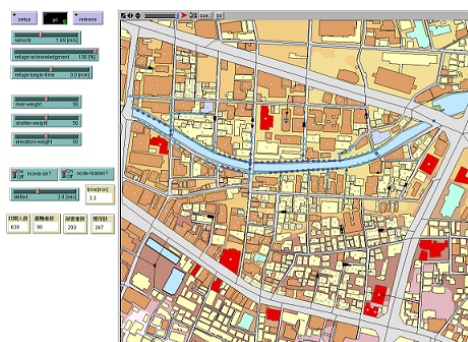


図-1 シミュレーション実行画面

3. 二地点間の歩行モデル

本論文で扱う二地点間の歩行モデルは、二つの交差点間での避難者の歩行モデルを検討するものである。この歩行モデルには、避難者が経過時間毎に、他の避難者を避けながら最も歩行する距離が短くなると考えられる経路を選択していく最短経路選択モデルを適用する。

(1) 最短経路選択モデル

最短経路選択モデルは、始点と終点、塀状の障害物（以降『塀』と記述する）が存在する時に、塀を避けながら終点まで辿り着く最短経路を選択して移動するモデルである。最短経路は、質点が移動する場合、始点と終点、塀の端点で構成される線分のネットワーク上に存在することが知られている。そこで、最短経路探索法の一つであるDijkstra法³⁾を用いて経路の探索を行っている。また、全ての端点同士でネットワークのリンクを構成してしまうと、塀と衝突してしまうリンクが発生してしまう。これを回避するために、端点同士のネットワークの構成時に塀と交わるかを調べるために、二線分の交差の判定を行っている（図-2）。

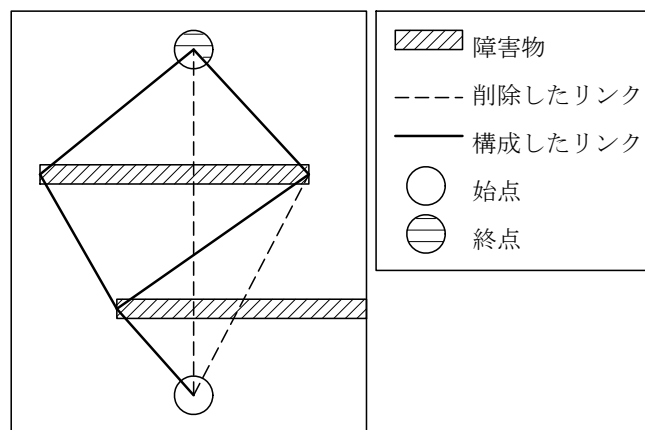


図-2 ネットワークのリンクの構成

(2) Dijkstra 法

Dijkstra法は、ある始点からネットワーク上の各ノードへの最短経路を、始点の周辺から1つずつ確定し、徐々に範囲を広げ、最終的にすべてのノードへの最短経路を求めるアルゴリズムである。Nに対して始点ノードsから他のすべてのノードに至る最短経路を求めるDijkstra法の手順を以下に示す。

step1: T_S と $k \leftarrow \infty (j \neq s)$, $i \neq s$, ノード集合 $M = N - s$ とする。

step2: $M = \phi$ ならば終了。それ以外なら以下の手順で反復計算をする。

(1) $j \in M$ に対して

KeyWords : 避難行動, マルチエージェントモデル, Dijkstra 法

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: keisuke-u@civil.chuo-u.ac.jp

- $$\min\{T_j^{[k]}, T_i^{[k]} + d_{ij}\} = T_i^{[k]} + d_{ij} \quad (d_{ij} < \infty)$$
- ならば
 $T_j^{[k+1]} = T_j^{[k]} + d_{ij}, B_j = i$
 とおく.
- (2) $\min_{j \in M}\{T_j^{[k+1]}\} = T_p^{[k+1]}$
 となる p を求める.
- (3) p を M から除く. $j \leftarrow p, k \leftarrow k+1$ とおく.

ただし, d_{ij} はノード i からノード j にかけての距離, N はネットワークのノード集合, s は始点ノード, p は永久ラベルが付いているノード, j は一時ラベルが付いているノード, B_j はノード j の直前のノード, T_j は始点ノード s からノード j への暫定的な最短距離, T_p は始点ノード s からノード p への最短距離である.

(3) 障害物としての歩行者の考慮

歩行者を避けながら歩行するには, 歩行者の形状を仮定する必要がある. 最短経路選択モデルでは, 線分を回避させることができるため, 歩行者の形状は線分で構成するため, ここでは歩行者の向いている方向と, その垂直となる方向での, 二本の線分の十字形で表現することとする. なお, 構成する線分の半分の長さを歩行者の半径 r と表現することとする.

(4) 目的点群の使用

歩行者が目的とする点の一つのみの場合, ある目的点に歩行者が集中してしまうため, 道路の端から端まで移動するような, 目的地を辺で考える場合には不向きである. そこで, ステップ毎に, 点群のうち歩行者からのネットワーク距離が最も近くなる点を目標として移動させる. これにより, 目的地とする辺上に目的点群を配置することで, 歩行流の形成などを確認することができる.

(5) 歩行者の部分的な認識

Dijkstra 法で用いるネットワークについて, 歩行者から認識半径分の円の中に存在する歩行者の影響のみを考慮する. これにより, 全ての歩行者を認識してしまう場合より, 計算時間が短縮できると考えられる.

4. 歩行シミュレーション

(1) 二方向からの歩行シミュレーション

二方向からの歩行シミュレーションを行うことで, 目標点群の有効性及び, 歩行者の部分的な考慮の妥当性を検討する. 初期条件は図-3に示す配置とする. 計算時間の比較のために, ネットワークに歩行者全体を使う場合と, ネットワークに歩行者を部分的に考慮する場合を考える. なお, 後者の条件において, 歩行者を認識する円の半径は, 2.5[m] とする. 他の条件は, 歩行者の発生ライン(図-3の破線部)における歩行者の発生間隔は, ライン当たり 5[人/4s], 歩行者の半径 $r=0.5$ [m], 歩行速度 $v=1.69$ [m/s], 微小時間増分 $\Delta t=0.5$ [s] としてシミュレーションを行う.

図-4に, ネットワークに歩行者全体を使う場合と, ネットワークに歩行者を部分的に考慮する場合でのステップ毎

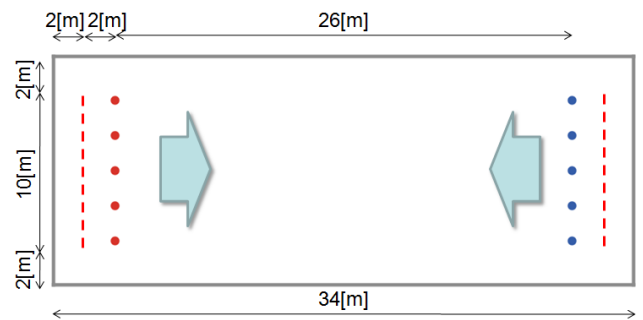


図-3 初期条件

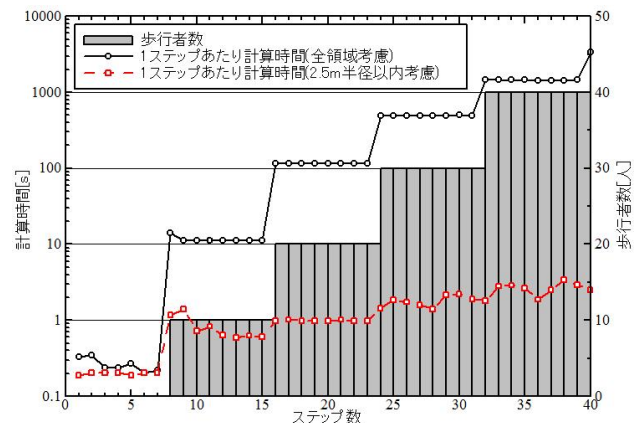


図-4 ステップ毎の計算時間の比較

の計算時間の比較を示す. 各歩行者についてネットワークを作成しているため, ネットワークを部分的に考慮することで計算時間を大幅に削減できていることが確認できる.

5. おわりに

本論文では, マルチエージェントモデルを用いた避難行動シミュレーションにおける二次元歩行モデルの構築を行い, 以下の結論を得た.

- 歩行者が二方向からすれ違うシミュレーションを行うことで, 歩行者の重なりが生じない, 二次元での挙動が確認できた.
- 歩行者を部分的に認識してネットワークを構成することで, 計算時間を削減することができた.

今後の課題として, 二地点間歩行モデルを連結できるようにすることや, 歩行者の個人特性を導入することなどが挙げられる.

参考文献

- 1) 例えば, 片田敏孝, 浅田純作, 桑沢敬行: GIS を用いた災害情報伝達のシミュレーション分析: 土木情報システム論文集: Vol.9, pp.49-58: 2000
- 2) 宇野圭亮, 大川博史, 田中聖三, 樫山和男: マルチエージェントモデルを用いた災害避難シミュレーションシステムの構築: 土木学会関東支部技術研究発表会概要集 (CD-ROM): 34, 2007.
- 3) E. W. Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs, Numerische Mathematik, Vol.1, pp.269-271, 1959.
- 4) NetLogo, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>